



TUGAS AKHIR - TM145502

ANALISA VARIASI KANDUNGAN AIR DI ELEKTRODA
E7018 PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN
ARUS 220A TERHADAP MATERIAL ST37
MENGUNAKAN METODE RADIOGRAFI DAN MAKRO
ETSA

BINTANG PUTRA DEWA
NRP. 2114 030 039

Dosen Pembimbing 1
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT.
19580915 198701 1 001

Dosen Pembimbing 2
Ir. Subowo, MSc.
19581004 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISA VARIASI KANDUNGAN AIR DI
ELEKTRODA E7018 PADA HASIL PENGELASAN
SMAW DENGAN ARUS 220A TERHADAP
MATERIAL ST37 MENGGUNAKAN METODE
RADIOGRAFI DAN MAKRO ETSA**

**BINTANG PUTRA DEWA
NRP. 2114 030 039**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Subowo, MSc
19581004 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 145502

**ANALYSIS OF MOISTURE CONTENT
VARIATION IN ELECTRODE E7018 TO SMAW
WELDING RESULT WITH CURRENT 220A ON
MATERIAL ST37 USING RADIOGRAPHY AND
MACRO-ETCHING METHODS**

**BINTANG PUTRA DEWA
NRP. 2114 030 039**

**Counsellor Lecturer 1
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**Counsellor Lecturer 2
Ir. Subowo, MSc
19581004 198701 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA VARIASI KANDUNGAN AIR DI ELEKTRODA E7018 PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN ARUS 220A TERHADAP MATERIAL ST37 MENGGUNAKAN METODE RADIOGRAFI DAN MAKRO ETSA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

BINTANG PUTRA DEWA
NRP. 2114 030 039

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


Ir. Gathot Dwi Winarto, M.Eng.
NIP. 19580915 198701 1 001




Ir. Subowo, Msc.
NIP. 19581004 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2017

**ANALISA VARIASI KANDUNGAN AIR DI ELEKTRODA
E7018 PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN
ARUS 220A TERHADAP MATERIAL ST37
MENGUNAKAN METODE RADIOGRAFI DAN MAKRO
ETSA**

Nama : Bintang Putra Dewa
NRP : 2114 030 039
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT.

Abstrak

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam yaitu apabila sebuah logam hasil pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) menggunakan elektroda yang memiliki kandungan air akibat dibiarkan di udara bebas ataupun terkena air hujan.

Pada penelitian ini akan menganalisa mengenai pengaruh perbedaan waktu perendaman pada *filler* (tanpa direndam, 30 menit, 45 menit, 60 menit) sebelum dilakukan pengelasan SMAW terhadap material ST37 dengan pengujian radiografi (ASME Sect. V) yang bertujuan untuk mengetahui cacat yang terjadi pada hasil lasan pada material yang telah diberi kampuh 60°, dan uji metalografi (makro etsa) yang bertujuan untuk mengetahui struktur makro pada daerah batasan *Base Metal*, *HAZ* (*Heat Affected Zone*), dan *Weld Metal*.

Dari hasil yang didapat pada pengujian radiografi, didapatkan bahwa spesimen dengan *filler* yang tidak direndam memiliki cacat yang lebih sedikit (*cluster porosity* dan *porosity*) dan hanya terjadi pada dua titik daripada *filler* yang direndam selama 30 menit (*slug inclusion* dan *porosity*), 45 menit (*slug inclusion*, *porosity*, dan *cluster porosity*), dan 60 menit (*slug inclusion* dan *porosity*). Sedangkan pada pengujian metalografi (makro etsa), didapatkan bahwa lebar *HAZ* pada *filler* yang tanpa direndam memiliki lebar yang lebih besar yaitu (4,4mm) daripada

filler yang direndam selama 30 menit (3,93mm), 45 menit (2,98mm), dan 60 menit (1,96mm).

Kata kunci : Pengelasan SMAW, Radiografi, Makro Etsa, Cacat Las, Lebar HAZ

ANALYSIS OF MOISTURE CONTENT VARIATION IN ELECTRODE E7018 TO SMAW WELDING RESULT WITH CURRENT 220A ON MATERIAL ST37 USING RADIOGRAPHY AND MACRO-ETCHING METHODS

Name : Bintang Putra Dewa
NRP : 2114 030 039
Department : Industrial Mechanical Engineering
Advisor : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT.

Abstract

One of the problem in welding a metal material that is in a metal welding using SMAW electrodes result that have moisture content due to be left in free air or exposed to rain.

In the current study will analyze about the influence of the different of time soaking in the filler (without being soaked, 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes) prior to welding SMAW againts ST37 with testing materials radiography (ASME Sect. V) which aims to discover defects that occur on the results of welds on material that has been given a seam 60°, and test metalography (macro-etching) that aims to find out the structure of a macro on the area limitation Base Metal, HAZ (Heat Affected Zone), and Weld Metal.

From the results obtained in test, radiography is obtained that the specimen with a filler that do not have a disability who soaked a little more (cluster porosity and porosity) and only occurs at two points instead of filler that is marinated for 30 minutes test (slug inclusion and porosity), 45 minutes (slug inclusion, porosity, and cluster porosity), and 60 minutes (slug inclusion and porosity). While in metalography, obtained by testing that the width of the HAZ in the filler without soaked has wider area (4,4mm) than the filler that is marinated for 30 minutes (3,93mm), 45 minutes (2,98mm), and 60 minutes (1,96mm).

***Keywords : SMAW Welding, Radiography, Macro-Etching,
Welding Defects, Width of HAZ***

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan penelitian yang berjudul : **“ANALISA VARIASI KANDUNGAN AIR DI ELEKTRODA E7018 PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN ARUS 220A TERHADAP MATERIAL ST37 MENGGUNAKAN METODE RADIOGRAFI DAN MAKRO ETSA”** dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT. selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. Bapak Ir. Subowo, MSc. selaku dosen pembimbing 2
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, Msc. selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Bapak Dedy Zulhidayat N, ST, MT, PhD selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.
8. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
9. Grader Lab Metalurgi atas kerjasamanya selama proses pengerjaan Penelitian ini.
10. Teman – teman angkatan 2012, 2013, dan 2014 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
11. Mas Agung (alumni 2000) yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan
12. Rekan TA saya Davin Ridho Kurniawan yang telah membantu penulis selama pengerjaan Penelitian.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS dan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan	5
2.2 SMAW.....	5
2.2.1 SMAW AC	6
2.2.1 SMAW DC	6
2.3 Parameter Pengelasan.....	7
2.3.1 Tegangan Busur Las	7
2.3.2 Besar Kuat Arus Las.....	8
2.3.3 Kecepatan Pengelasan	8
2.4 Posisi pada Pengelasan Plat.....	8
2.5 HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	14
2.6 Heat Input	14
2.7 Kodefikasi Elektroda	15
2.8 Cacat pada Pengelasan.....	17

2.8.1 Keropos (<i>Porosity</i>)	17
2.8.2 Percikan Las (<i>Spatter</i>)	20
2.8.3 <i>Slug Inclusion</i>	20
2.8.4 <i>Shrinkage</i>	21
2.8.5 <i>Elongated Slug In</i>	21
2.8.6 <i>External Undercut</i>	22
2.9 Material ST37	22
2.10 Radiografi (<i>Radiografi Test</i>)	24
2.10.1 Sinar- γ	25
2.10.2 Sinar- γ (Gamma)	25
2.10.3 Pesawat <i>Gamma ray</i>	26
2.10.4 Sumber Radioaktif <i>Gamma Ray</i>	26
2.10.5 Prinsip Kerja Radiografi	27
2.10.6 Metode Pengujian Radiografi	27
2.10.7 Pemilihan <i>Image Quality indicator</i> (IQI)	32
2.10.8 <i>Film</i> Radiografi	34
2.10.9 Sensitivitas <i>Film</i> Radiografi	35
2.10.10 Densitas <i>Film</i> Radiografi	36
2.10.11 Interpretasi Hasil <i>Film</i> Radiografi	37
2.10.12 Klasifikasi jenis <i>film</i> radiografi	37
2.10.13 Pemilihan <i>film</i> radiografi	38
2.10.14 Pemrosesan <i>film</i> radiografi	39
2.11 Metalografi	41
2.11.1 Uji Makro (<i>Macroscopic Examination</i>)	42
2.11.2 Uji Mikro (<i>Microscopic Examination</i>)	42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	43
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian	44
3.3 Tempat Penelitian	44
3.4 Langkah kerja	44
3.4.1 Studi literatur	44
3.4.2 Persiapan Material	44
3.4.3 Pengelasan	46
3.4.4 Persiapan Benda Uji	49

3.5 Pengujian Benda Kerja	50
3.5.1 Pengujian Radiografi.....	50
3.5.2 Pengujian Metalografi (<i>Makro Etsa</i>)	54

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan.....	57
4.2 <i>Radiografi Test</i> (uji Radiografi)	58
4.3 <i>Macro Etsa Test</i> (uji Makro Etsa)	66

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengelasan SMAW.	6
Gambar 2.2	Posisi pengelasan 1G.....	8
Gambar 2.3	Posisi pengelasan 2G.....	9
Gambar 2.4	Posisi pengelasan 3G.....	9
Gambar 2.5	Posisi pengelasan 4G.....	9
Gambar 2.6	Posisi pengelasan fillet 1F	10
Gambar 2.7	Posisi pengelasan fillet 2F	10
Gambar 2.8	Posisi pengelasan fillet 3F	11
Gambar 2.9	Posisi pengelasan Overhead	11
Gambar 2.10	Posisi pengelasan pipa flat 1G.....	12
Gambar 2.11	Posisi pengelasan pipa horizontal 2G	12
Gambar 2.12	Posisi pengelasan 5G.....	13
Gambar 2.13	Posisi pengelasan 6G.....	13
Gambar 2.14	Daerah HAZ.	14
Gambar 2.15	Cacat Keropos (<i>Porosity</i>).	18
Gambar 2.16	Cacat <i>Distributed Porosity</i>	18
Gambar 2.17	Cacat <i>Cluster Porosity</i>	19
Gambar 2.17	Cacat <i>Aligned Porosity</i>	19
Gambar 2.19	Cacat Percikan Las.	20
Gambar 2.20	Sketsa cacat las <i>slug inclusion</i> dan <i>image</i> pada foto radiografi	20
Gambar 2.21	Cacat <i>Shrinkage</i>	21
Gambar 2.22	Cacat <i>Elongated Slug In</i>	21
Gambar 2.23	Cacat <i>External Undercut</i>	22
Gambar 2.24	Mesin <i>Gamma-ray</i>	26
Gambar 2.25	Sumber Radioaktif <i>Isotop Material</i>	26
Gambar 2.26	Skema pengujian radiografi	27
Gambar 2.27	<i>Internal source image internal film technique</i> .	28
Gambar 2.28	<i>Internal film technique</i>	28
Gambar 2.29	<i>Panaromic technique</i>	29
Gambar 2.30	<i>Contact technique</i>	30
Gambar 2.31	<i>Non contact technique</i>	30
Gambar 2.32	<i>Ellips technique</i>	31

Gambar 2.33	<i>Superimposed technique</i>	32
Gambar 2.34	Penyinaran menggunakan <i>Film Radiografi</i> ...	34
Gambar 2.35	Penampang <i>film</i> radiografi dan jenis bagiannya	34
Gambar 2.36	<i>Wire image quality indicator</i>	35
Gambar 2.37	Densitometer	36
Gambar 2.38	<i>Viewer</i>	37
Gambar 2.39	Struktur butir <i>film</i> lambat (a) dan <i>film</i> cepat (b).....	39
Gambar 2.40	Skema diagram pemrosesan <i>film</i> radiografi	41
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian	43
Gambar 3.2	Dimensi Material	45
Gambar 3.3	Sudut <i>groove</i> 60 ⁰ dengan tebal 6mm.....	45
Gambar 3.4	Material dengan Kampuh 60 ⁰	45
Gambar 3.5	Proses perendaman <i>filler</i>	47
Gambar 3.6	Penimbangan <i>filler</i> hasil rendaman	48
Gambar 3.7	Mesin las TIG-MMA	48
Gambar 3.8	Proses Pengelasan	49
Gambar 3.9	Tang <i>Ampere</i>	49
Gambar 3.10	Alat uji radiografi Ir – 192.....	50
Gambar 3.11	Pemberian identitas pada spesimen.....	52
Gambar 3.12	Spesimen Uji Radiografi.....	52
Gambar 3.13	Proses Uji Radiografi.....	53
Gambar 3.14	Proses pencucian film setelah proses radiografi	53
Gambar 3.15	Cairan <i>Developer, Stop bath, Fixer</i>	53
Gambar 3.16	<i>Viewer</i>	54
Gambar 3.17	Spesimen sebelum di etsa	55
Gambar 3.18	Alat dan Bahan untuk Proses Etsa	55
Gambar 3.19	Larutan Etsa	55
Gambar 3.20	Kertas Gosok	56
Gambar 3.21	Proses Pengetsaan	56
Gambar 4.1	Hasil lasan dengan <i>filler</i> tanpa direndam	58
Gambar 4.2	Film hasil uji radiografi <i>filler</i> tanpa direndam .	59

Gambar 4.3	Sketsa cacat pada <i>filler</i> yang tanpa direndam...	59
Gambar 4.4	Hasil lasan perendaman filler waktu 30 menit .	60
Gambar 4.5	Film hasil uji radiografi perendaman filler 30 menit.....	60
Gambar 4.6	Sketsa cacat pada <i>filler</i> direndam selama 30 menit.....	60
Gambar 4.7	Hasil lasan perendaman filler waktu 45 menit.....	61
Gambar 4.8	Film hasil uji radiografi perendaman filler 45 menit.....	61
Gambar 4.9	Sketsa cacat pada <i>filler</i> direndam selama 45 menit.....	62
Gambar 4.10	Hasil lasan perendaman filler waktu 60 menit.....	62
Gambar 4.11	Film hasil uji radiografi perendaman filler 60 menit.....	63
Gambar 4.12	Sketsa cacat pada <i>filler</i> direndam selama 60 menit.....	63
Gambar 4.13	Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> tanpa direndam	66
Gambar 4.14	Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> tanpa direndam	66
Gambar 4.15	Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 30 menit	66
Gambar 4.16	Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 30 menit.....	67
Gambar 4.17	Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 45 menit	67
Gambar 4.18	Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 45 menit.....	67
Gambar 4.19	Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 60 menit	68
Gambar 4.20	Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan <i>filler</i> direndam 60 menit.....	68
Gambar 4.21	Grafik Lebar Total HAZ	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Posisi pengelasan pada kodefikasi ‘A’	16
Tabel 2.2	Karakteristik Digit Keempat (<i>huruf B</i>) Tipe Selaput dan Arus Listrik.....	17
Tabel 2.3	Nilai <i>Chemical Composition</i>	22
Tabel 2.4	Sifat Mekanik ST 37.....	22
Tabel 2.5	Karakteristik dari 5 elemen pada baja.	23
Tabel 2.6	Pemilihan <i>Image Quality Indicator</i>	33
Tabel 2.7	<i>Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity</i>	33
Tabel 2.8	Film AGFA GEVAERT.....	38
Tabel 3.1	Logam Induk dan Pengisi.....	46
Tabel 3.2	Parameter Pengelasan.....	46
Tabel 3.3	Berat <i>filler</i> berdasarkan waktu perendamannya.....	46
Tabel 3.4	Pemilihan <i>image quality indicator</i>	51
Tabel 3.5	<i>Wire IQI designation, wire diameter, and wire Identity</i>	51
Tabel 4.1	Data Primer Pengelasan.....	57
Tabel 4.2	Logam Induk E7018.....	57
Tabel 4.3	Heat Input.	58
Tabel 4.4	Klasifikasi Kehitaman (Density) dan Sensitivitas <i>Film</i>	64
Tabel 4.5	Klasifikasi Cacat	65
Tabel 4.6	HAZ pada material setelah dilas	69
Tabel 4.7	Lebar Rata-Rata HAZ (mm).....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dicapai saat ini umumnya merupakan pengembangan dari ilmu pengetahuan dan teknologi pada masa sebelumnya, demikian halnya dengan teknologi pengelasan dimana pada mulanya hanya merupakan teknik penyambungan yang mutakhir dan kualitas produk yang dihasilkan dapat diandalkan.

Penentuan komposisi logam yang akan dilas, jenis proses pengelasan dan elektroda yang akan digunakan harus berdasarkan fungsi dari pengelasan tersebut terhadap peralatan yang akan dilas, karena pengelasan tidak hanya untuk tujuan konstruksi akan tetapi dapat pula untuk kepentingan reparasi maka pengelasan harus memperhatikan kesesuaian antara parameter-parameter las dengan kegunaan konstruksi serta kondisi sekeliling.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam itu ialah apabila filler atau logam pengisi tersebut memiliki kelembaban yang terkandung dalam elektroda dan mempengaruhi hasil pengelasan. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh kelembaban dari elektroda tersebut terhadap hasil pengelasan.

Didalam integritas suatu instalasi atau konstruksi memerlukan suatu pemeriksaan pada tahap konstruksi serta sebelum dan sewaktu beroperasi juga. Dengan berjalannya waktu, lingkungan, dan kondisi bahan akan berubah selaras dengan beban pemakaian, didunia industri fabrikasi tidak lepas dari suatu tindakan inspeksi yang salah satunya adalah pengujian radiografi. Inspeksi ini banyak digunakan dalam dunia fabrikasi terutama pada sambungan konstruksi bangunan. Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada material baja ST 37, yang penggunaannya sangat luas digunakan dalam pembuatan sebuah konstruksi bangunan berbahan material logam, menggunakan metode pengelasan *SMAW* dengan membedakan variasi kelembaban pada

elektroda yang di rendam dalam air yaitu selama 30 menit, 45 menit, 60 menit dan tanpa perendaman.

Berdasarkan pertimbangan diatas, kami mengadakan penelitian Tugas Akhir dengan judul : **“Analisa Variasi Kandungan Air Di Elektroda E7018 Pada Hasil Pengelasan SMAW Dengan Arus 220A Terhadap Material ST37 Menggunakan Metode Radiografi Dan Makro Etsa”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian judul diatas, maka permasalahan yang dikaji adalah sebagaimana besar pengaruh kandungan air yang terdapat pada lapisan pembungkus (*flux*) dengan direndam selama 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan tanpa direndam terhadap proses pengelasan SMAW pada material ST37.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kandungan air pada lapisan pembungkus (*flux*) E7018 terhadap hasil lasan dengan metode radiografi.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kandungan air pada lapisan pembungkus (*flux*) E7018 terhadap hasil lasan dengan metode *macro etsa*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material awal yang digunakan homogen.
2. Menggunakan proses SMAW (*Shield Metal Arc Weld*) dengan posisi IG.
3. *Ampere* yang digunakan adalah 220 *Ampere* dan kampuh yang digunakan adalah *single V groove* 60°.
4. Material yang digunakan adalah ST37 dengan tebal 10 mm.

5. Elektroda yang digunakan adalah E7018 dengan diameter 3.2 mm.
6. Menggunakan *gamma-ray* Ir-192.
7. Menggunakan metode *source side*.
8. Menggunakan *wire* IQI ASTM SET 1B.
9. Menggunakan teknik SWSV.
10. *Film* pendek tipe sedang AGFA *structurix* D7.
11. Pengujian yang dilakukan adalah Radiografi dan *Macro Etsa*.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh kandungan air yang terdapat pada elektroda E7018 terhadap hasil pengelasan *SMAW* dari material ST37.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan makro etsa, mikro etsa.

2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau diskusi dengan dosen pembimbing.

3. Observasi Data

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

4. Analisa Data

Menganalisa hasil pengujian radiografi dan *Macro Etsa* yang terjadi pada bagian logam hasil las, *HAZ*, dan *Base Metal* setelah dilakukan pengelasan.

5. Membuat Kesimpulan

Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjas mengenai bagian-bagian tugas akhir, diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian radiografi dan *Macro Etsa*.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

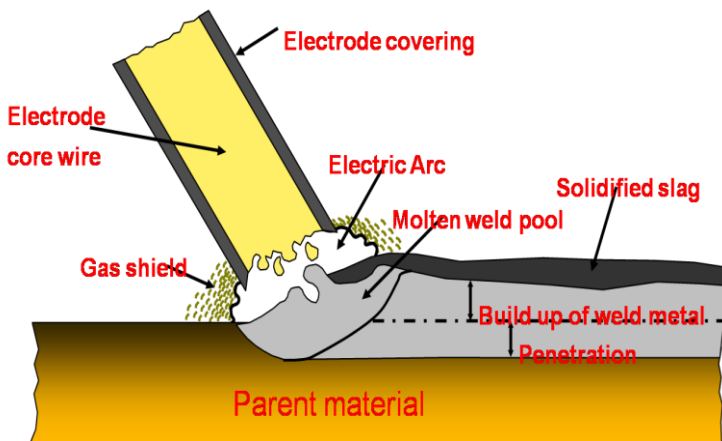
2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada besi tuang. Membuat lapisan las pada perkakas mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya. Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu didalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktek, secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara-cara pengelasan.

2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah-daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda.

Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCSP (*straight polarity* atau polaritas langsung) dan DCRP (*reverse polarity* atau polaritas terbalik). *Filler* atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.



Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC

Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai. Secara teknik *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.

2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC

Pada arus DC (*Direct Current*) , *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai

untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan *polarity DC* khususnya untuk pengelasan *carbon steel*, namun pada prinsipnya *DC polarity* dibagi kedalam dua bagian, yaitu:

1. *DCSP (Straight Polarity)*

Prinsip dasarnya material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las *DC*. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

2. *DCRP (Reversed Polarity)*

Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las *DC*, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.

2.3 Parameter Pengelasan

2.3.1 Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dari jenis elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan diameter elektroda.

2.3.2 Besar kuat arus las

Besar kuat arus pengelasan diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda, diameter elektroda itu sendiri dan lain-lain.

2.3.3 Kecepatan pengelasan

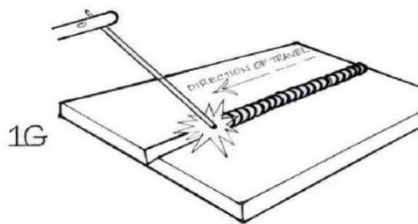
Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang akan dilas, geometri sambungan, dan lain sebagainya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dari kuat arus, dapat dikatakan bahwa kecepatan pengelasan hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan kuat arus. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan kuat arus yang tinggi.

2.4 Posisi pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Pada proses pengelasan terdapat berbagai macam posisi pengelasan yaitu posisi pengelasan pada plat, fillet, dan pipa. Adapun macam-macam posisinya dapat disebutkan sebagai berikut:

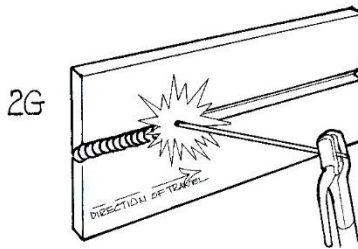
Posisi pengelasan pada plat terdiri dari empat macam, yaitu:

- Posisi 1G



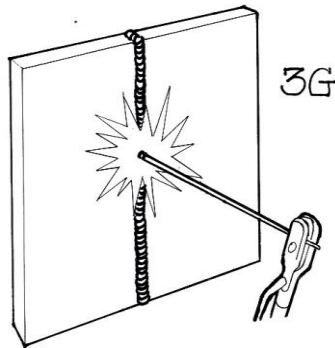
Gambar 2.2 Posisi pengelasan plat 1G

- Posisi 2G



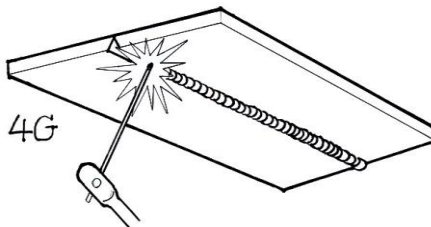
Gambar 2.3 Posisi pengelasan plat 2G

- Posisi 3G



Gambar 2.4 Posisi pengelasan plat 3G

- Posisi 4G



Gambar 2.5 Posisi pengelasan plat 4G

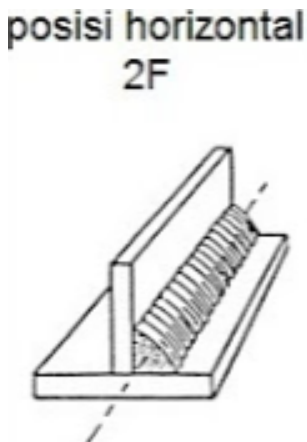
Posisi pengelasan pada fillet terdiri dari empat macam, yaitu:

- Posisi 1F



Gambar 2.6 Posisi pengelasan fillet 1F

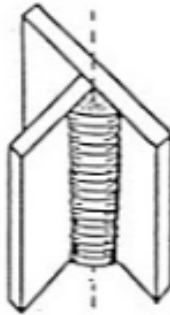
- Posisi 2F



Gambar 2.7 Posisi pengelasan fillet 2F

- Posisi 3F

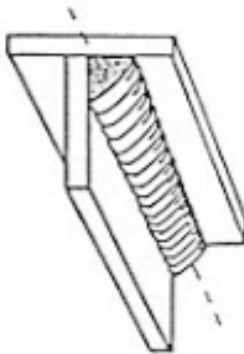
posisi vertikal
3F



Gambar 2.8 Posisi pengelasan fillet 3F

- Posisi Overhead

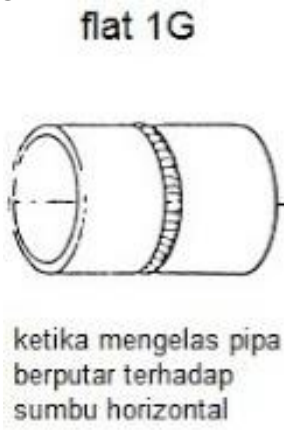
posisi overhead



Gambar 2.9 Posisi pengelasan Overhead

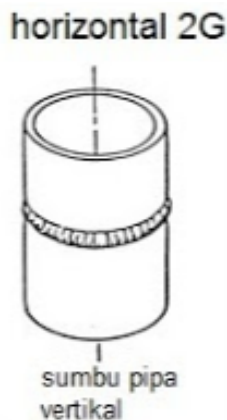
Posisi pengelasan pada pipa terdiri dari empat macam, yaitu:

- Posisi flat 1G



Gambar 2.10 Posisi pengelasan pipa flat 1G

- Posisi horizontal 2G



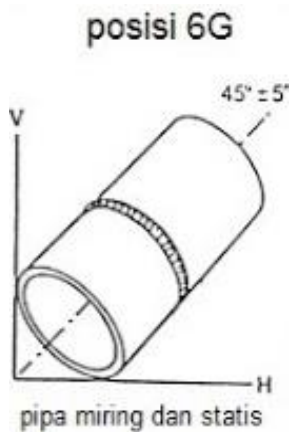
Gambar 2.11 Posisi pengelasan pipa horizontal 2G

- Posisi 5G



Gambar 2.12 Posisi pengelasan 5G

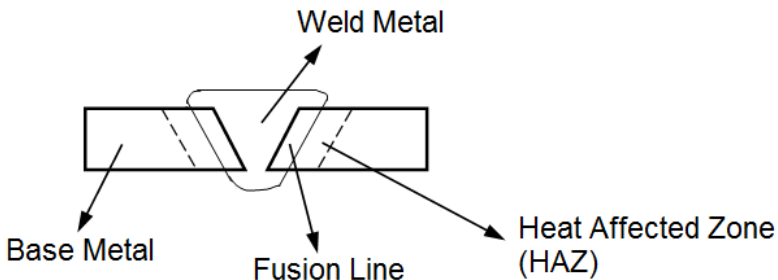
- Posiis 6G



Gambar 2.13 Posisi pengelasan 6G

2.5 HAZ (*Heat Affected Zone*)

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu, pertama, *base metal* merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah *weld metal* merupakan daerah yang terkena las dan tempat terjadinya proses pencairan *base metal* yang kemudian bercampur dengan logam las, ketiga adalah daerah terpengaruh panas atau disebut *heat affected zone (HAZ)* merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan. HAZ merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah HAZ dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las.



Gambar 2.14 Daerah HAZ

2.6 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan

kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

Masukan panas :
$$HI = \frac{V \times I \times 60}{s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: $HI =$ Masukan panas atau energi (J/mm)
 $I =$ Arus (Ampere)
 $V =$ Voltase (Volt)
 $s =$ Kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.7 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila

kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh: E XX A B

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : (dua angka) menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

A : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

B : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Tabel 2.1 Posisi pengelasan pada kodefikasi ‘A’

kode angka 1	untuk semua posisi
kode angka 2	untuk posisi flat dan horizontal
kode angka 3	hanya untuk posisi flat

Tabel 2.2 Karakteristik Digit Keempat (*huruf B*) Tipe *Flux* dan Arus Listrik

Digit akhir	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Suplay daya	(a)	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC	AC atau DC
Tipe terak	(b)	Organik	Rutile *	Rutile*	Rutile*	Hidrogen rendah	Hidrogen rendah	Mineral	Hidrogen rendah
Tipe busur	Digging (penembusan)	Digging (penembusan)	Sedang	Lunak	Lunak	Sedang	Sedang	Lunak	Sedang
Penetrasi	(c)	(Deep) Dalam	Sedang	Ringan	Ringan	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Tepung besi pelapisan	0-10%	-	0-10%	0-10%	30-50%	-	-	50%	30-50%

(Rohyana,2004)

Keterangan:

(a) E-6010 adalah DC, E-6020 adalah AC atau DC

(b) E-6010 adalah organik, E-6020 adalah mineral

(c) E-6010 adalah penetrasi dalam, E-6020 adalah penetrasi sedang

* Terak Titanium dioksida yang keras kebanyakan pabrik membuat cap (*stamp*) pada setiap elektroda klasifikasi arus reguler. Sebagai tambahan untuk klasifikasi warna digunakan untuk beberapa elektroda. Kode warna ditetapkan dengan National Electrical Manufacturers Association (NEMA).

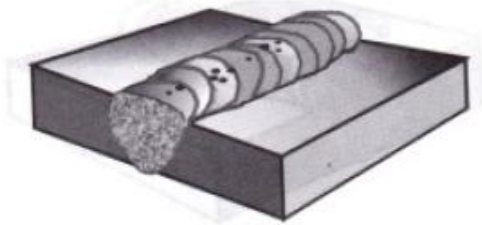
2.8 Cacat pada Pengelasan

Jenis cacat permukaan las:

2.8.1 Keropos (*Porosity*)

Disebabkan karena lingkungan las yang lembab atau basah, kampuh kotor, angin berhembus dipermukaan las, lapisan galvanis, salah jenis arus, salah jenis polaritas, ampere *capping* terlalu besar. Akibatnya melemahkan sambungan, tampak buruk, mengawali karat permukaan. Penanggulangannya yaitu cacat digerinda hingga hilang

kemudian dilas isi sesuai dengan pembuatan prosedur pengelasan (WPS).

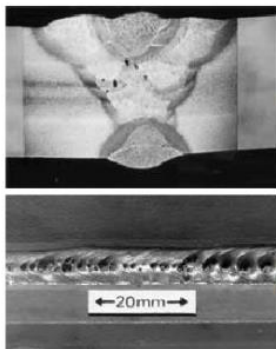


Gambar 2.15 Cacat Keropos (*Porosity*)

Cacat keropos (*porositas*) terdiri dari:

- ***Distributed Porosity***

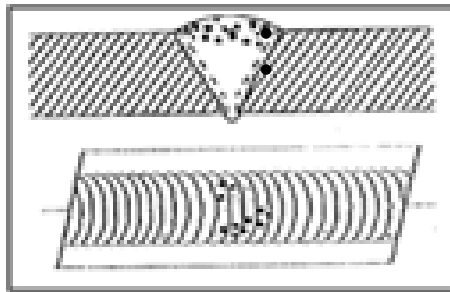
Porositas yang disebabkan oleh penyerapan nitrogen, oksigen dan hidrogen di kolam las cair, yang kemudian dilepaskan pada pematatan menjadi terjebak dalam logam las. Penyerapan nitrogen dan oksigen di kolam las biasanya berasal dari perisai gas yang buruk. Sedikitnya 1% udara entrainment pada shielding gas akan menyebabkan porositas terdistribusi dan lebih besar.



Gambar 2.16 Cacat *Distributed Porosity*

- ***Cluster Porosity***

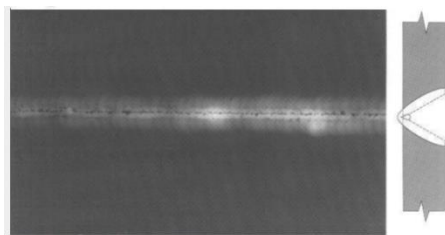
Cluster Porosity disebabkan ketika fluks pada elektroda terkontaminasi dengan uap air. Kelembaban berubah menjadi gas saat dipanaskan dan menjadi terjebak dalam pengelasan selama proses pengelasan. Cluster porositas muncul seperti porositas biasa di radiograf namun indikasinya akan dikelompokkan berdekatan.



Gambar 2.17 Cacat *Cluster Porosity*

- ***Aligned Porosity***

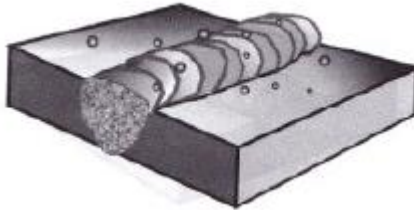
Rongga bulat dan memanjang di dasar lasan sejajar sepanjang garis tengah las. Titik kerapatan yang membulat dan memanjang, yang mungkin dihubungkan dalam garis lurus di tengah lebar lasan.



Gambar 2.18 Cacat *Aligned Porosity*

2.8.2 Percikan Las (*Spatter*)

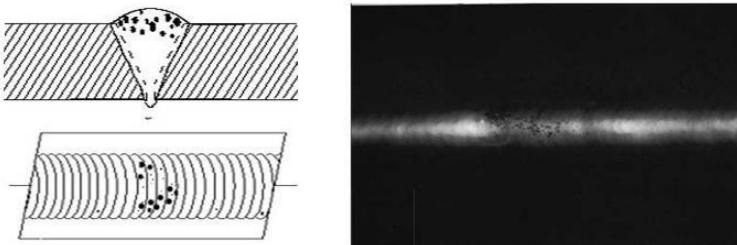
Disebabkan oleh elektrode yang lembab, kampuh kotor, angin kencang, lapisan galvanisir, ampere *capping* terlalu tinggi. Akibatnya lasan tampak jelek, mengalami karat permukaan. Penanggulangannya cukup dibersihkan dengan pahat. Pembersih dengan gerinda tidak boleh mengingat akan memakan bahan induk.



Gambar 2.19 Cacat Percikan Las

2.8.3 *Slug Inclusion*

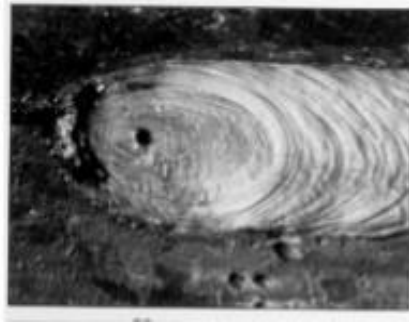
Inklusi terak adalah bahan padat non-logam terperangkap dalam logam lasan atau antara logam las dan logam dasar. *Inklusi* terak adalah daerah dalam penampang las atau di permukaan lasan dimana *fluks* sekali-cair digunakan untuk melindungi logam cair secara mekanik yang terjebak dalam logam dipadatkan. *Slag* yang dipadatkan ini merupakan bagian dari salib bagian las, jika logam tersebut tidak menyatu dengan dirinya sendiri.



Gambar 2.20 Sketsa cacat las *slug inclusion* dan *image* pada foto radiografi

2.8.4 *Shrinkage*

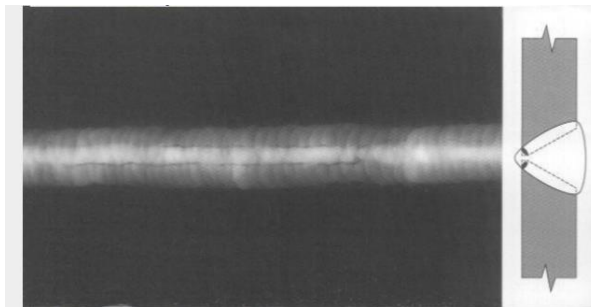
Aliran dangkal di setiap sisi manik penetrasi. Sebab, kontraksi logam di sepanjang sisi manik saat dalam kondisi plastik. Campuran antara penetrasi campuran cairan filler dan base metal disepanjang sisi groove tidak merata.



Gambar 2.21 Cacat *Shrinkage*

2.8.5 *Elongated Slug In*

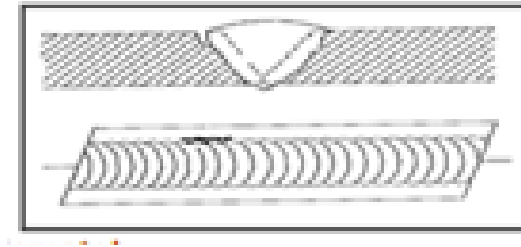
Kotoran yang solid pada permukaan setelah pengelasan dan tidak dilepas di antara lintasan. Memanjang, sejajar atau satu garis kerapatan yang lebih gelap, tidak beraturan lebar dan sedikit berkelok-kelok di arah yang memanjang.



Gambar 2.22 Cacat *Elongated Slug In*

2.8.6 External Undercut

Erosi logam dasar di samping weld metal pada pengelasan. Dalam radiografi, tampak garis gelap yang tidak teratur di sepanjang tepi luar area pengelasan.



Gambar 2.23 Cacat *External Undercut*

2.9 Material ST37

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material ST 37. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.3 Nilai *Chemical Composition*

Steel grade	Equivalent standard EN 10025	Weight of elements (%)					
		C (max)	Si	Mn	P(max)	S (max)	N (max)
St 37	S 235JR	0.20	0.15-0.35	0.35-0.75	0.050	0.050	0.011
St 44	S 275JR	0.23	0.15-0.45	0.35-0.90	0.050	0.050	0.011
St 52	S 355JR	0.23	≤0.60	≤1.60	0.045	0.045	-

Tabel 2.4 Sifat Mekanik ST 37

Steel grade	Tensile test			Cold bend test at angle of 180°
	Min. yield point Y.P N/(mm) ²	Tensile strength U.T.S N/(mm) ²	Min. Elongation δ ₅ %	Bend mandrel diameter in terms of specimen thickness
St 37	235	360-510	26	1 S*
St 44	275	430-580	22	2.5 S*
St 52	355	510-680	22	2.5 S*

S*:Tested specimen thickness

Tabel 2.5 Karakteristik dari 5 elemen pada baja

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan dan kemampuan baja untuj mengeras, tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silicon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silicon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silicon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silicon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.

Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.10 Radiografi (*Radiografi Test*)

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Test (NDT)*. Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian

bahan tanpa merusak bahan yang diuji, baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk melihat cacat di dalam *weld metal* yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti X-ray dan *gamma ray*. Metode pengujian radiografi yaitu memancarkan sinar-sinar elektromagnetik (sinar- χ dan sinar- γ) ditembuskan kepada bahan lalu direkam dalam film khusus. Dari hasil rekaman film akan dapat diamati diskontinuiti bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen.

2.10.1 Sinar- χ

Sinar- χ dihasilkan oleh electron dengan kecepatan sinar tinggi. Energy ini kemudian diubah ke panas dan menghasilkan sinar- χ . Electron ini diarahkan ke cermin (target) dalam ruang hampa dan sinar tersebut memantul lagi melalui lubang tabung dan diteruskan menuju komponen yang diperiksa. Cara pemeriksaan yaitu bahan ditempakan diantara tabung sinar- χ dan film. Jika bahan tersebut berat dan jenisnya sama seluruhnya, film akan menerima pecahannya yang merata. Akan tetapi kalau ada cacat, seperti lubang didalam hasil penuangan atau dalam pengelasan, maka jika film tersebut dicuci akan terlihat noda hitam.

2.10.2 Sinar- γ (Gamma)

Metode ini secara fundamental mirip dengan metode sinar- χ , tetapi perbedaannya adalah sumber cahayanya. Sumber cahaya gamma dihasilkan dari sumber radiasi yang dihasilkan dari isotop radioaktif dari sebuah reactor nuklir. Tidak seperti sinar- χ yang mempunyai cahaya lurus, sinar gamma ini dapat mengarah ke segala arah. Cara pemeriksaanya adalah film ditempatkan di bagian belakang benda. Apabila bahan tersebut cacat di bagian dalam maka bila filmnya dicuci akan tampak cacat hitam.

2.10.3 Pesawat *Gamma ray*

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan menyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan sinar radioaktif. Fungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaannya, seperti Gambar 2.24 dibawah berikut.



Gambar 2.24 Mesin *Gamma-ray*

2.10.4 Sumber Radioaktif *Gamma Ray*

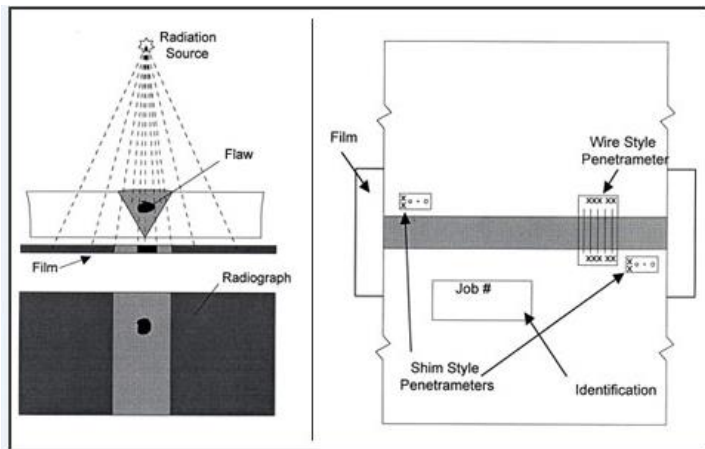
Tidak seperti yang sumbernya dihasilkan oleh mesin yang dialiri listrik, *Gamma ray* menggunakan *radioisotope* yang digunakan untuk menyimpan sumber. Radioisotope yang digunakan dimasukkan kedalam kapsul untuk mencegah kebocoran radiasi. Setelah *radioisotope* dimasukkan kedalam kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografi. Kapsul tersebut digunakan sebagai kabel untuk membentuk “*Pigtail*“, *Pigtail* mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambungkan ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera *gamma ray*.



Gambar 2.25 Sumber Radioaktif *Isotop Material*

2.10.5 Prinsip Kerja Radiografi

Material yang akan dilakukan pengujian diletakkan dibawah sumber radiasi. Ketika sumber sinar- χ / *gamma ray* dipancarkan ke material maka, radiasi akan menembus materal, bagian terdalam material yang terdapat cacat maka akan terekam film yang berwarna lebih gelap, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.26 Skema pengujian radiografi

2.10.6 Metode Pengujian Radiografi

Dalam pengujian radiografi ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu kontruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu :

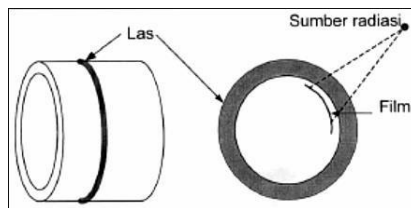
1. *Single Wall Single Viewing* (SWSV)

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada *film* tergambar satu bagian dinding las untuk di

interpretasi. Teknik *single wall single viewing* meliputi:

- *Internal Source Technique*

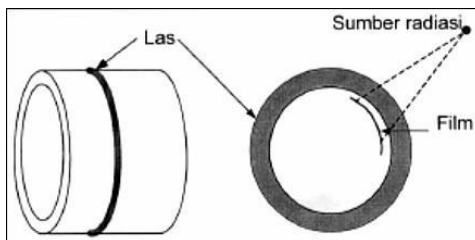
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan *film* di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.27 dibawah berikut.



Gambar 2.27 *Internal source image internal film technique*

- *Internal film technique*

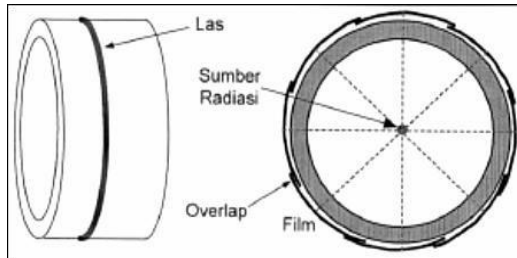
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan *source film distance* minimal dan ada akses masuk kedalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.28 dibawah berikut.



Gambar 2.28 *Internal film technique*

- *Panaromic Technique*

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan *film* hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.29 dibawah berikut .



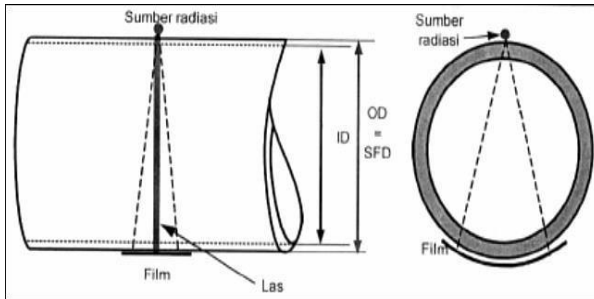
Gambar 2.29 *Panaromic technique*

2. *Double Wall Single Viewing (DWSV)*

Metode *double wall single viewing* ini diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber sedemikian rupa sehingga radiasi melalui dua dinding las sedangkan pada *film* hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan *film* untuk diinterpretasi. Teknik *double wall single viewing* meliputi :

- *Contact technique*

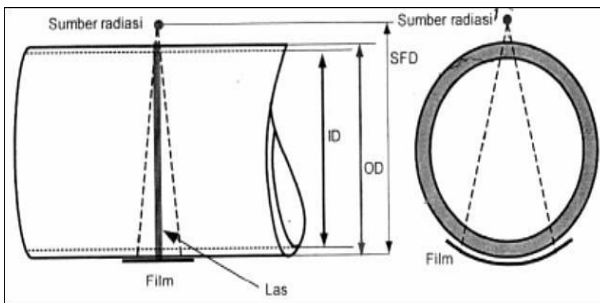
Teknik ini dilakukan dengan melekatkan sumber ke permukaan lasan benda uji. Diameter luar benda uji besarnya minimal sama atau lebih besar dari *source film distance* minimal untuk bisa dilakukan tehnik ini. seperti yang ditukkan pada Gambar 2.30 dibawah berikut:



Gambar 2.30 *Contact technique*

- *Non contact technique*

Teknik ini dilakukan jika diameter benda uji besarnya lebih kecil dari *source film distance* minimal maka penempatan sumber dapat diletakkan agak jauh dari permukaan tetapi diatur sedemikian rupa hingga dinding atas las tidak tergambar pada *film*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.31 dibawah berikut:



Gambar 2.31 *Non contact technique*

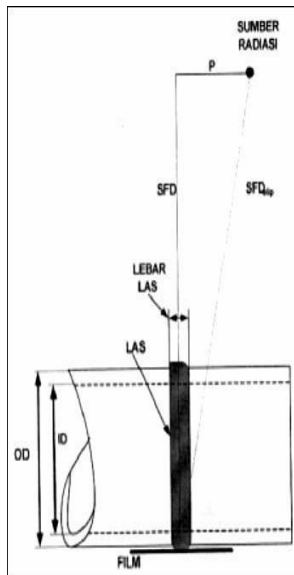
3. *Double Wall Double Viewing (DWDV)*

Benda uji dengan diameter luar yang kecil tidak mungkin diterapkan teknik *single wall single viewing* maupun *double wall single viewing*. Beberapa standar

merekomendasikan teknik *double wall double viewing* diterapkan pada benda uji berupa Pipa dengan diameter kurang dari 100 mm. Teknik *double wall double viewing* merupakan teknik penyinaran dengan posisi sumber radiasi sedemikian rupa sehingga radiasi menembus kedua dinding benda uji dan pada *film* tergambar kedua dinding las tersebut untuk diinterpretasi. Teknik *double wall double viewing* meliputi:

- *Ellips technique*

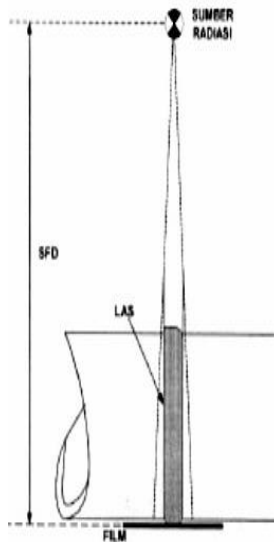
Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk *ellips*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.32 dibawah berikut



Gambar 2.32 *Ellips technique*

- *Superimposed technique*

Sebagai alternatif bila teknik elips tidak dapat diterapkan maka teknik *double wall double viewing* dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding benda uji bertumpuk, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.33 dibawah berikut:



Gambar 2.33 *Superimposed technique*

2.10.7 Pemilihan *Image Quality indicator (IQI)*

Pemilihan *image quality indicator (IQI)* yang tepat merupakan hal yang penting dalam peembakan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu *film* radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu *film* terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *wire type* dan penempatan marker memilih metoda *film side*. Berdasarkan Table 2.6 diketahui produk las

dengan ketebalan tertentu selanjutnya akan didapatkan nilai *wire-type essential wire*.

Tabel 2.6 Pemilihan *Image Quality Indicator*

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Setelah didapatkan nilai *wire type wire essential* atau *wire identity* maka selanjutnya menuju Table 2.7 dibawah berikut mengacu pada table.

Tabel 2.7 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

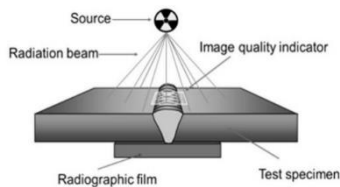
Set A			Set B		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.0032	(0.08)	1	0.010	(0.25)	6
0.004	(0.10)	2	0.013	(0.33)	7
0.005	(0.13)	3	0.016	(0.41)	8
0.0063	(0.16)	4	0.020	(0.51)	9
0.008	(0.20)	5	0.025	(0.64)	10
0.010	(0.25)	6	0.032	(0.81)	11

Set C			Set D		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.032	(0.81)	11	0.100	(2.54)	16
0.040	(1.02)	12	0.126	(3.20)	17
0.050	(1.27)	13	0.160	(4.06)	18
0.063	(1.60)	14	0.200	(5.08)	19
0.080	(2.03)	15	0.250	(6.35)	20
0.100	(2.54)	16	0.320	(8.13)	21

Kemudian didapatkan data *wire diameter* berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. *Wire diameter* menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang dapat terlihat pada *film* radiografi tersebut. *Wire identity* menunjukkan nomor *wire* minimal yang muncul pada *film*.

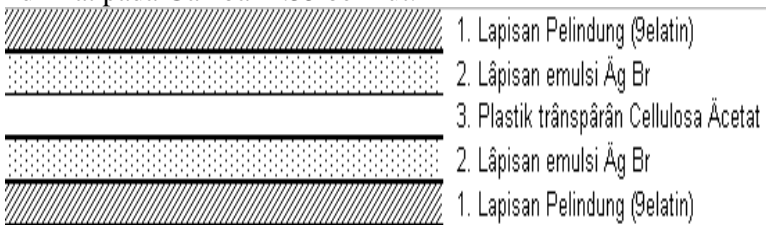
2.10.8 Film Radiografi

Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah *film*. *Film* berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar *film* terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu *cellulosa acetat*, yang mempunyai sifat *fleksibel*, ringan, tidak mudah pecah, dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr (perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin, seperti pada Gambar 2.34 menunjukkan penyinaran menggunakan *film*.



Gambar 2.34 Penyinaran menggunakan *Film Radiografi*

Secara detail nama-nama bagian *film* radiografi dapat dilihat pada Gambar 2.35 berikut:



Gambar 2.35 Penampang *film* radiografi dan jenis bagiannya

2.10.9 Sensitivitas *Film Radiografi*

Sebelum *film* radiografi dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas *film* radiografi adalah fungsi dari *contrast* dan *definition* dari *film* radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada *film* hasil radiografi atau kemudahan gambar detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji *standart* yang disebut penetrometer atau yang sering disebut *image quality indicator* (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan *standart* yang digunakan.

IQI ada 2 macam yaitu *wire* dan *hole*, akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering sekali menggunakan type *wire* dikarenakan lebih praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI *hole* karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “shims”, maka pengujian ini memilihlah IQI yang bermodelkan *wire* atau yang sering disebut kawat *standart* IQI ASTM/ASME yang terdiri atas 21 kawat, yang disusun menjadi 4 set dimana setiap set berisi 6 kawat.



Gambar 2.36 *Wire image quality indicator*

Sensitivitas indikator kualitas bayangan tipe kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada *film* hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain:

1. Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi
2. Menentukan kualitas gambar radiografi

2.10.10 Densitas *Film* Radiografi

Densitas *film* radiografi ialah tingkat kegelapan pada *film* radiografi yang telah selesai diproses dan densitas radiografi dilakukan pada daerah pemeriksaan atau yang biasa disebut *area of interest* pada densitas minimal dan maksimal namun bukan pada tempat yang ditafsirkan sebagai sebuah diskontinuitas. *Film* radiografi dinyatakan memenuhi kualitas bila densitas yang diukur pada tempat-tempat diatas memiliki rentang tertentu, yang nilainya tergantung pada prosedur atau spesifikasi ataupun *standart* yang digunakan. Pada ASME Sec.V 2015 untuk *gamma-ray* mempunyai rentang nilai densitas 2 sampai 4. Selain itu ASME Sec.V 2015 juga menetapkan batasan variasi densitas tidak mengijinkan -15% dan +30%.

Densitometer adalah sebuah peralatan ilmiah yang dirancang untuk mengukur tingkat kehitaman suatu *film* radiografi dengan *output* menunjukan suatu angka tingkat kehitaman.



Gambar 2.37 Densitometer

2.10.11 Interpretasi Hasil *Film Radiografi*

Setelah dilakukan penembakan lalu dilakukan interpretasi terhadap *film* radiografi menggunakan alat *viewer* dan alat mengukur tingkat kegelapan yaitu densitometer. Interpretasi bertujuan untuk melihat dan menentukan suatu cacat pada produk pengelasan, densitas, variasi densitas, dan sensitivitas *film* radiografi. Yang kemudian hasil dari interpretasi akan dinilai dan dibandingkan dengan *film-film* dari hasil berbeda kondisi dan berbagai *source film distance* penembakan radiografi. Penilaian akan dilihat pada densitas, variasi densitas dan sensitivitas apa sudah memenuhi syarat keberterimaan sesuai ASME Sec.V 2010.



Gambar 2.38 *Viewer*

2.10.12 Klasifikasi jenis *film* radiografi

Film radiografi diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik *film*.

Setiap perusahaan *film* memproduksi berbagai macam jenis *film* yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Film screen fluorescent* yaitu *film* yang dalam penggunaannya memerlukan *screen* pengintensif *fluorescent* dan dapat menghasilkan *film* dengan penyinaran yang minimum.
2. *Film* langsung yaitu *film* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau untuk penyinaran menggunakan *screen* timbal.

Tabel 2.8 Film AGFA GEVAERT

Jenis Film	Faktor Paparan Relatif					Kelas ISO	Kelas DIN	Kelas ASTM
	100 kV	200 kV	Ir-192	Co-60	LINAC/ 8 MeV			
D2	10,6	8,7	9	10	10	GI	G1	Spesial
D3	10,6	8,7	-	-	-	GI	G1	I
D3	4,1	4,2	5	5,1	5,1	GI	G1	I
D4	3,1	2,6	3	3,1	3,1	GI	G2	I
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	GII	G2	I
D7	1	1	1	1	1	GIII	G3	II
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	GIII	G4	II
D6R	2	1,7	1,7	1,7	1,3	GIII	-	II

Setiap perusahaan *film* memproduksi berbagai macam jenis *film* yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Film screen fluorescent* yaitu *film* yang dalam penggunaannya memerlukan *screen* pengintensif *fluorescent* dan dapat menghasilkan *film* dengan penyinaran yang minimum.
2. *Film langsung* yaitu *film* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau untuk penyinaran menggunakan *screen* timbal.

2.10.13 Pemilihan *film* radiografi

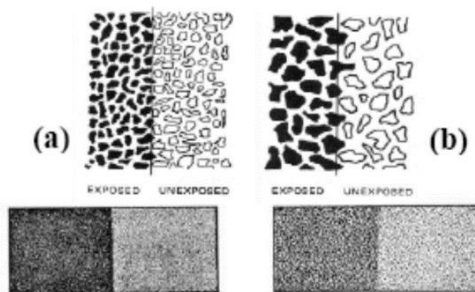
Pemilihan *film* untuk radiografi tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih *film* dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.

3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan yang tersedia dari pesawat sinar-x.
4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan segi ekonomi.

Pemilihan *film* untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (Ci) yang tersedia pada sumber *gamma-ray*. Pemilihan *film* juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas radiografi yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan *film* lambat (*film* dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan *film* cepat.

Untuk detail butiran *film* dapat dilihat pada Gambar 2.38 dibawah ini. Butiran *film* mempengaruhi *definition film* radiografi. *Film* berbutir besar (*film* cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan *film* berbutir kecil (*film* lambat) menghasilkan *definition* terbaik.



Gambar 2.39 Struktur butir *film* lambat (a) dan *film* cepat (b)

2.10.14 Pemrosesan *film* radiografi

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya *film* diproses sehingga citra *laten* yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses

yang dipakai untuk mengubah suatu *film* yang telah terekspose menjadi *film* radiografi. Langkah – langkah pemrosesan *film* berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Developer*

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah *reducer* yang terbuat dari *metol* atau *hydroquinone*. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspose menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian *film* tidak berubah menjadi hitam karena *reducer* dapat membedakan antara butiran yang terekspose dengan yang tidak terekspose. Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh *developer*.

2. *Stop Bath*

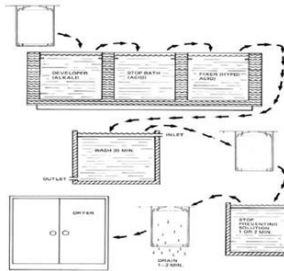
Apabila sebuah *film* dikeluarkan dari dalam larutan *developer* maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di *film* tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam *stop bath* biasanya adalah asam asetat glacial. *Stop bath* memiliki dua fungsi yaitu:

- Menghentikan aksi *developing* dengan cara menetralkan zat basa *developer* (basa dan asam saling menetralkan).
- Menetralkan zat basa *developer* sebelum *film* dimasukkan ke dalam cairan *fixer* sehingga memperpanjang usia *fixer*.

3. *Fixer*

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada *film*. Di dalam *developer*, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. *Fixer* menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspose dari dalam *film*. Di dalam proses *fixing* terdapat dua tahap yang terpisah. Setelah pemrosesan dengan zat kimia, *film* dicuci dan

dikeringkan. *Film* tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi *film* dan menghasilkan pengeringan merata. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2.39 dibawah ini.



Gambar 2.40 Skema diagram pemrosesan *film* radiografi

2.11 Metalografi

Ilmu logam dibagi menjadi dua bagian khusus, yaitu metalurgi dan metalografi. Metalurgi adalah menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur lain atau cara pengolahan logam secara teknis, sehingga diperoleh jenis logam atau logam paduan yang memenuhi kebutuhan tertentu. Sedangkan metalografi adalah mempelajari tentang pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran dari logam tersebut.

Metalografi meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. Cutting, yaitu mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
2. Mounting, yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
3. Grinding, yaitu meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas.

4. Pemolesan (Polishing), yaitu mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin, menghilangkan ketidakrataan sampel hingga orde $0,01 \mu\text{m}$.
5. Etsa, yaitu mengamati dan mengidentifikasi detil struktur logam dengan bantuan mikroskop optik setelah terlebih dahulu dilakukan proses etsa pada sampel, mengetahui perbedaan antara etsa kimia dengan elektro etsa serat aplikasinya.

2.11.1 Uji Makro (*Macroscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan makro adalah pemeriksaan bahan dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar yaitu yang dengan pembesaran rendah (*a low magnification*). Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 0,5 kali sampai 50 kali. Pemeriksaan secara makro biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti misal logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.

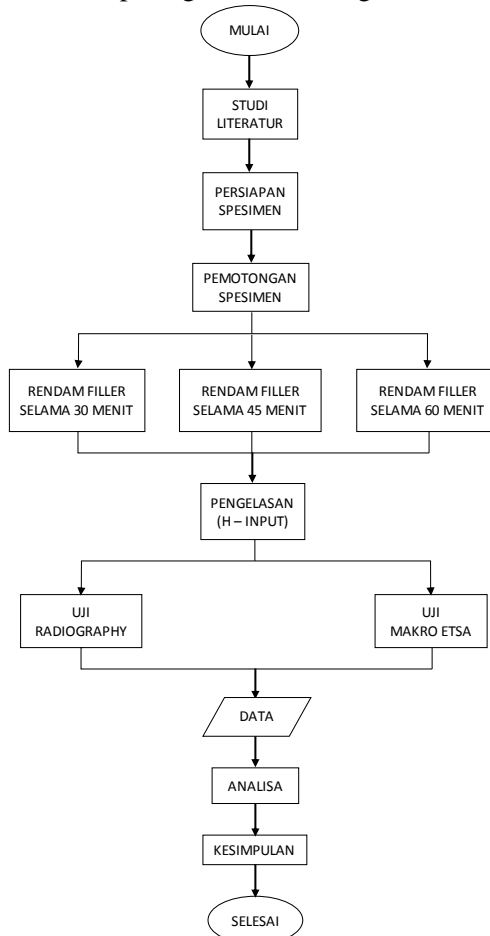
2.11.2 Uji Mikro (*Microscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan mikro ialah pemeriksaan bahan logam di mana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa mikroskop antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih dengan menggunakan mikroskop industri.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart Penelitian*

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart Penelitian*

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2016/2017 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2017.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin FV-ITS dan Lab. Uji NDT AND TECH Surabaya.

3.4 Langkah Kerja

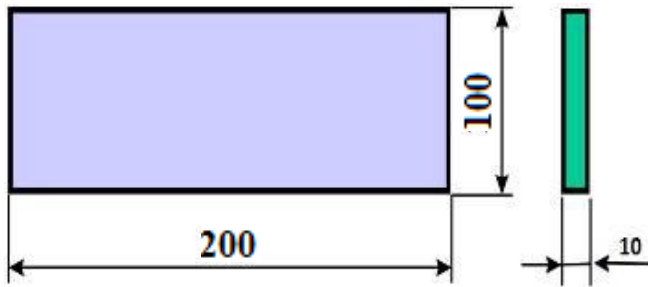
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, langkah pertama yang harus dilakukan adalah studi literatur tentang proses pengelasan SMAW dan langkah-langkah kerja dan pembacaan film hasil uji radiografi dan uji makro etsa, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan-tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

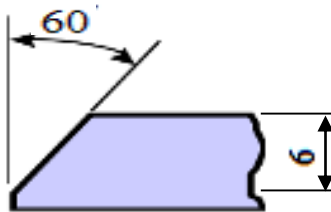
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan Material

Material yang digunakan adalah *ST 37* dengan tebal 10 mm. Material tersebut diberikan kampuh V menggunakan sudut single V *groove* 60^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut *groove* 60° dengan tebal 6mm



Gambar 3.4 Material dengan Kampuh 60°

Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	ST 37
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7018
Filler metal diameter (mm)	3,2
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
Number/pass	1 (<i>root</i>)	2 (<i>fill & capping</i>)
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/min	105.284	105.284
Amperage	220	220
Polaritas AC/DC	DC(+)	DC(+)
Voltage	27	27
Electrode diameter (mm)	3,2	3,2

Tabel 3.3 Berat *filler* berdasarkan waktu perendamannya

Variasi perendaman	Berat
Tidak di rendam	41, 10 gram
30 menit	41, 68 gram
45 menit	41, 87 gram
60 menit	42, 02 gram

3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukukan menggunakan *SMAW* (*DC+*, *DC-*) *posisi 1G* dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi perendaman filler, yaitu:

1. Variasi pengelasan dengan filler E7018 tanpa direndam
Material dilakukan pengelasan dengan menggunakan filler E7018 yang tanpa direndam dalam air.

2. Variasi perendaman filler E7018 dengan air selama 30 menit
Material dilakukan pengelasan dengan menggunakan filler E7018 yang telah direndam dalam air selama 30 menit.
3. Variasi perendaman filler E7018 dengan air selama 45 menit
Material dilakukan pengelasan dengan menggunakan filler E7018 yang telah direndam dalam air selama 45 menit.
4. Variasi perendaman filler E7018 dengan air selama 60 menit
Material dilakukan pengelasan dengan menggunakan filler E7018 yang telah direndam dalam air selama 60 menit.

Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya pembuatan groove pada masing-masing plat dan perendaman filler E7018 selama 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



Gambar 3.5 Proses perendaman filler



Gambar 3.6 Penimbangan *filler* hasil rendaman



Gambar 3.7 Mesin las TIG-MMA



Gambar 3.8 Proses Pengelasan



Gambar 3.9 Tang *Ampere*

3.4.4 Persiapan benda uji

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian yang akan dilakukan, sehingga sesuai dengan aplikasinya. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji Radiografi dan Uji Makro Etsa.

3.5 Pengujian Benda Kerja

3.5.1 Pengujian Radiografi

Untuk pengujian radiografi dilakukan pengambilan spesimen total 4 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 4 spesimen yaitu spesimen yang pengelasannya menggunakan filler tanpa direndam (digunakan sebagai pembanding), dan menggunakan filler yang direndam selama 30 menit, 45 menit, dan 60 menit.



Gambar 3.10 Alat uji radiografi Ir – 192

Langkah-langkah pengujian radiografi :

- 1) Menyiapkan spesimen
 - Ambil spesimen dan bersihkan dari kotoran
 - Bersihkan bekas-bekas *slug* jika masih terdapat pada plat
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 2) Pemberian identitas pada spesimen dan film
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya
 - Menempelkan blok huruf-huruf lalu di plester di bagian belakang spesimen sebagai identitas yang akan tampak pada hasil radiografi
 - Tempelkan film AGFA D7 pada spesimen yang akan di uji radiografi

- Pemilihan Image Quality Indicator dan menempelkan kawat peny di atas benda kerja
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen.
Pemilihan Wire IQI (*Image Quality Indicator*)

Tabel 3.4 Pemilihan *image quality indicator*

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9

Table 3.5 Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity

Set A			Set B		
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity		Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	
0.0032 (0.08)	1		0.010 (0.25)	6	
0.004 (0.10)	2		0.013 (0.33)	7	
0.005 (0.13)	3		0.016 (0.41)	8	
0.0063 (0.16)	4		0.020 (0.51)	9	
0.008 (0.20)	5		0.025 (0.64)	10	
0.010 (0.25)	6		0.032 (0.81)	11	

Ukuran - ukuran kawat yang harus terlihat di *film*

3) Pengujian pada spesimen.

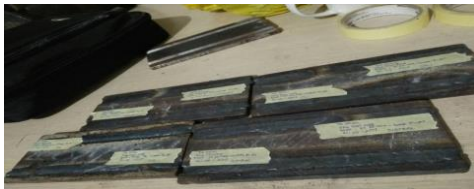
- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan spesimen pada ujung penyinaran dari alat uji radiografi
- Atur ketinggian dari ujung penyinaran uji radiografi terhadap benda kerja yang akan diuji
- Penyinaran yang dilakukan yakni SWSV (*Single Wall Single Viewing*)
- Menjauh dari benda kerja yang akan di uji sampai zona aman radiasi
- Lakukan penyinaran pada benda kerja.

- 4) Pencucian *film* setelah proses radiografi
- Setelah aman lalu ambil benda kerja dan lepaskan film untuk dilakukan pencucian
 - Cuci film dengan menggunakan cairan *developer*, *stopbath*, *fixer*
 - Lama pencucian :
Developer : 90 detik
Stopbath : 60 detik
Fixer : 20 detik
- 5) Evaluasi *film* hasil uji radiografi
- Ukur tingkat kehitaman *film* dengan densitometer dan bandingkan nilai yang dihasilkan dengan yang diijinkan pada pengujian radiografi (nilai yang diijinkan yakni 2-4)
 - Lihat hasil uji radiografi berupa film pada viewer
 - Ulangi langkah diatas unruk seluruh spesimen.

Berikut urutan proses pengujian radiografi :



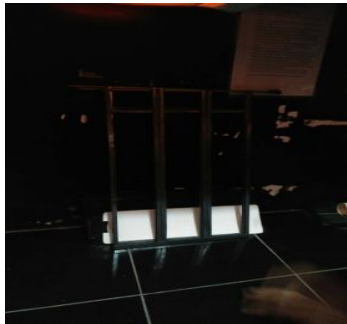
Gambar 3.11 Pemberian identitas pada spesimen



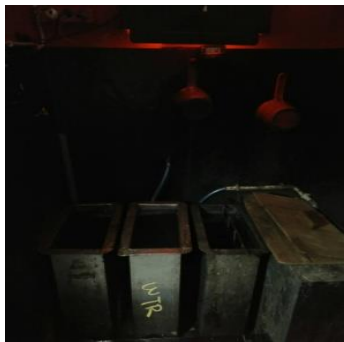
Gambar 3.12 Spesimen Uji Radiografi



Gambar 3.13 Proses Uji Radiografi



Gambar 3.14 Proses pencucian film setelah proses radiografi



Gambar 3.15 Cairan *Developer*, *Stop bath*, *Fixer*



Gambar 3.16 Viewer

3.5.2 Pengujian Metalografi (*Macro Etsa*)

Untuk proses Pengujian Metalografi dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan mikro test.

- Makro test

Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan $HCL + HNO_3 + H_2O$., maka bagian *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.

Prosedur pengujian *metalography* adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian *metalography* dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin *grinding* dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melautkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.
3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa selama ± 5 menit sampai *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* terlihat. Kemudian spesimen

dikeringkan dengan *hair dryer* dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji (*Test piece*) :



Gambar 3.17 Spesimen sebelum di etsa



Gambar 3.18 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa



Gambar 3.19 Larutan Etsa



Gambar 3.20 Kertas Gosok



Gambar 3.21 Proses Pengetsaan

4. Pengambilan gambar makro dan mikro spesimen.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan waktu perendaman *filler* dengan waktu 30 menit, 45 menit, 60 menit dan tanpa direndam dengan arus 220 ampere pada hasil lasan baja ST 37 dengan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) melalui 2 pengujian, yaitu radiografi dan makro etsa.

4.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 Data Primer Pengelasan

Panjang Pengelasan Plat = 200mm			
Variasi Perendaman	No. Layer	Waktu	Kecepatan (mm/s)
Normal	1	1' 50"	1,818
	2	1' 43"	1,942
30 Menit	1	1' 54"	1,753
	2	1' 48"	1,852
45 Menit	1	2' 15"	1,481
	2	2' 8"	1,563
60 Menit	1	2' 18"	1,449
	2	2' 10"	1,538
Rata – rata			1,6745

Tabel 4.2 Logam Induk E7018

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	ST 37
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7018
Filler metal diameter	3,2 mm
Posisi pengelasan	1G

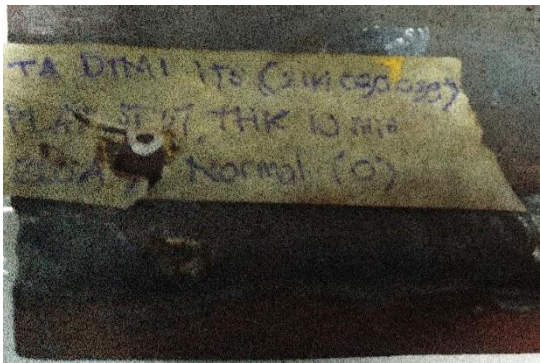
Tabel 4.3 Heat Input

Type Electroda	Arus (I)	Voltage (V)	Travel speed (s)	Heat Input (HI)
E 7018 diameter 3,2 mm	220 Ampere	27 Volt	1,6745 mm/s	3,547 kJ/mm

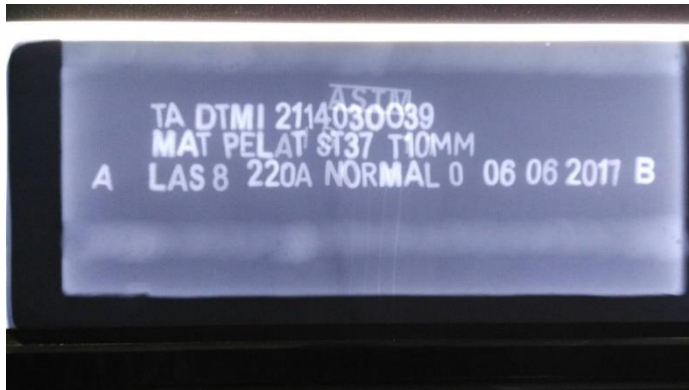
4.2 Radiografi Test (uji Radiografi)

Pada pengujian radiografi ini digunakan 4 spesimen berdasarkan variasi waktu perendaman filler, yaitu 3 spesimen untuk *filler* yang direndam dengan waktu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit dan 1 spesimen untuk *filler* yang tanpa direndam, didapat hasil sebagai berikut :

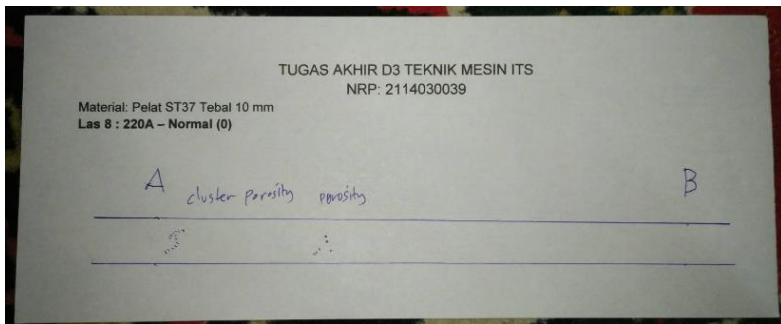
- Hasil uji radiografi pada plat ST37 pengelasan SMAW dengan *filler* tanpa direndam.



Gambar 4.1 Hasil lasan dengan *filler* tanpa direndam



Gambar 4.2 Film hasil uji radiografi *filler* tanpa direndam



Gambar 4.3 Sketsa cacat pada *filler* yang tanpa direndam

Dari gambar diatas, dilihat dari *film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan *filler* yang tanpa terendam air memiliki cacat *cluster porosity* dan *porosity*.

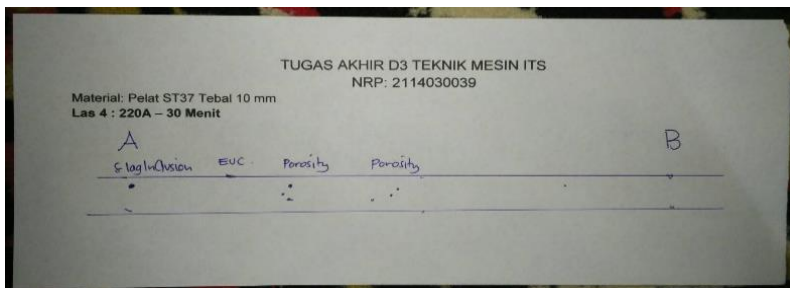
- Hasil uji radiografi pada plat ST37 pengelasan SMAW dengan filler perendaman 30 menit.



Gambar 4.4 Hasil lasan perendaman filler waktu 30 menit



Gambar 4.5 Film hasil uji radiografi perendaman filler 30 menit



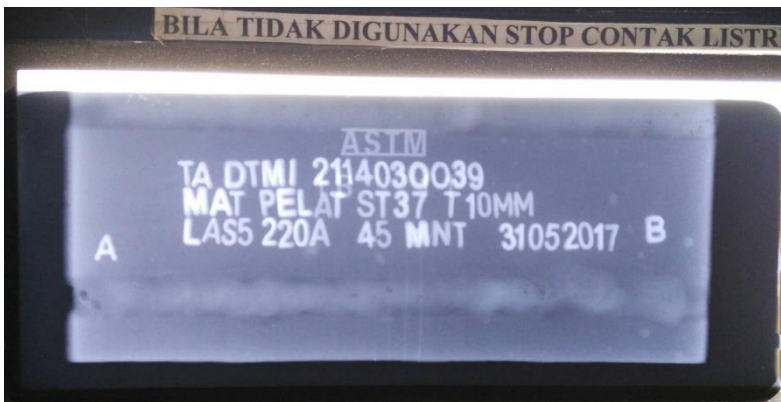
Gambar 4.6 Sketsa cacat pada *filler* direndam selama 30 menit

Dari gambar diatas, dilihat dari *film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan *filler* yang di rendam air selama 30 menit memiliki cacat *slug inclusion* dan *porosity*.

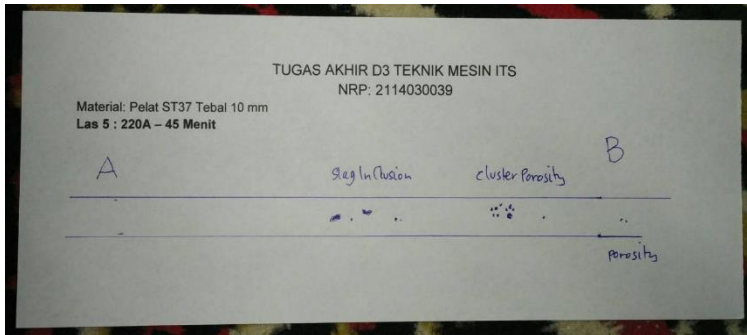
- Hasil uji radiografi pada plat ST37 pengelasan SMAW dengan filler perendaman 45 menit.



Gambar 4.7 Hasil lasan perendaman filler waktu 45 menit



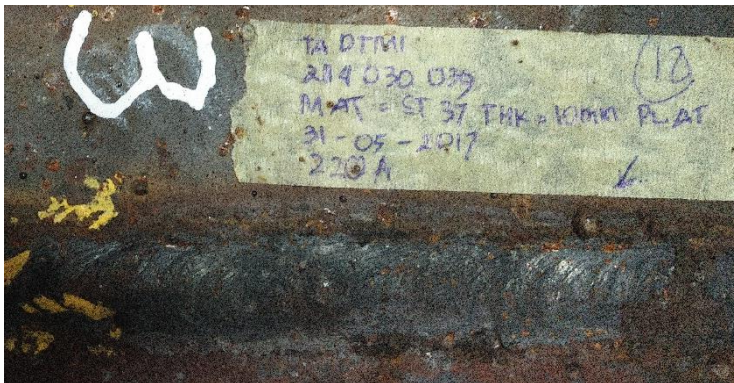
Gambar 4.8 Film hasil uji radiografi perendaman filler 45 menit



Gambar 4.9 Sketsa cacat pada *filler* direndam selama 45 menit

Dari gambardiatas, dilihat dari *film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan *filler* yang di rendam air selama 45 menit memiliki cacat *slug inclusion*, *porosity*, dan *cluster porosity*.

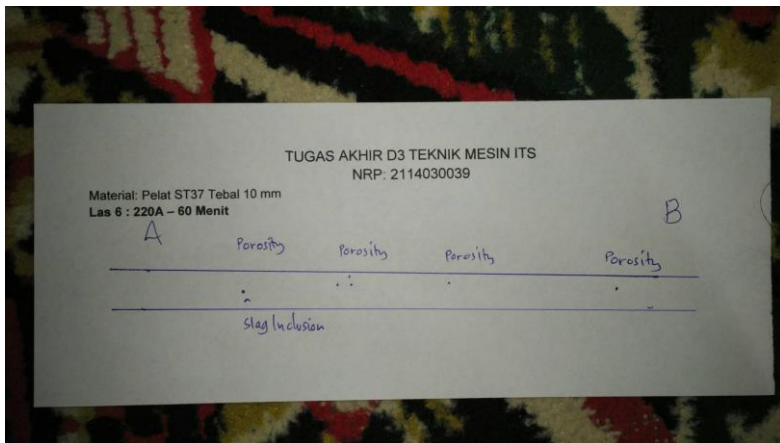
- Hasil uji radiografi pada plat ST37 pengelasan SMAW dengan filler perendaman 60 menit.



Gambar 4.10 Hasil lasan perendaman filler waktu 60 menit



Gambar 4.11 Film hasil uji radiografi perendaman filler 60 menit



Gambar 4.12 Sketsa cacat pada *filler* direndam selama 60 menit

Dari gambar diatas, dilihat dari *film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan *filler* yang di rendam air selama 60 menit memiliki cacat *slug inclusion* dan *porosity*.

Tabel 4.4 Klasifikasi Kehitaman (Density) dan Sensitivitas *Film*
Radioisotop Ir-192

Technique : Single Wall Single Viewing Image Quality Indicator : Wire ASTM Set 1B Exposure time : 2 menit Source Film Distance (SFD) : 400 mm Placement : Source Side Kehitaman Film (Density) : min. 2 – max. 4 (STANDART ASME SECT. V)			
Waktu Perendaman	IQI	DENSITY	
		MIN	MAX
Tanpa direndam	6	2,72	2,94
30 menit	6	2,50	2,72
45 menit	6	2,54	2,69
60 menit	6	2,56	2,79

Rumus Sensitivity : $S = \frac{\emptyset}{x} \times 100\%$

Keterangan :

S : Sensitivitas

\emptyset : Diameter Kawat No. 6 (mm)

x : Tebal Material + *Weld Metal* (mm)

$$S = \frac{0,25}{12} \times 100\% = 2,083 \%$$

Maka, nilai sensitivitas IQI sebesar 2,083 %

Dari Tabel 4.5 menunjukkan bahwa klasifikasi film yang terjadi menunjukkan IQI yang keluar pada *film*, semua berjumlah 6 dan densitas atau kehitaman pada *film*, semua diantara 2,5 - 2,9

yang mana dapat diterima karena sesuai standart ASME Sect. V yaitu densitas antara 2 - 4.

$$\text{Rumus Exposure Time : } ET = \left(\frac{\text{SFD Aktual}}{\text{SFD Kurva}} \right)^2 \times \frac{E}{A}$$

Keterangan :

ET : *Exposure Time* (menit)

E : Faktor *exposure time* (Ci menit)

A : Aktifitas sumber (Ci) = 14 Ci

SFD Aktual : 400 mm

SFD Kurva : 610mm

$$\text{Log } E = 1,72153 + 0,022115 (12)$$

$$\text{Log } E = 1,72153 + 0,26538$$

$$E = 97,723 \text{ Curie menit}$$

$$ET = \left(\frac{400}{610} \right)^2 \times \frac{97,723}{14} = 3 \text{ menit}$$

Jadi *Exposure Time* yang didapat pada perhitunagn tersebut maksimal adalah 3 menit, apabila *Exposure Time* yang digunakan lebih dari 3 menit, *film* bisa saja rusak atau kualitas hasil radiografi tidak maksimal.

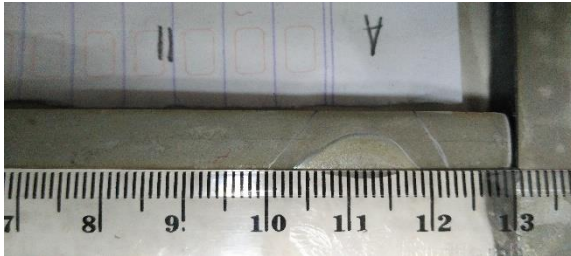
Tabel 4.5 Klasifikasi Cacat

WAKTU PERENDAMAN	JENIS CACAT	DIMENSI CACAT	JUMLAH CACAT
Tanpa direndam	Porositas	0,3-1	2
30 menit	Inklusi terak Porositas Erosi Logam Dasar	0,3-2 0,3-1,3 0,5-1,6	4
45 menit	Inklusi Terak Porositas	0,3-1 0,3-1,2	3
60 menit	Inklusi Terak Porositas	1-3 0,3-1	5

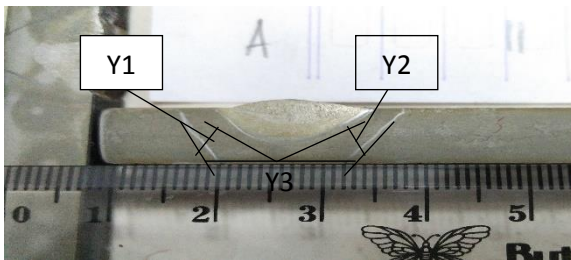
4.3 *Macro Etsa Test (uji Makro Etsa)*

Pada pengujian makro etsa ini yang akan dilihat daerah *HAZ* dan *Weld metal*.

Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar dibawah:



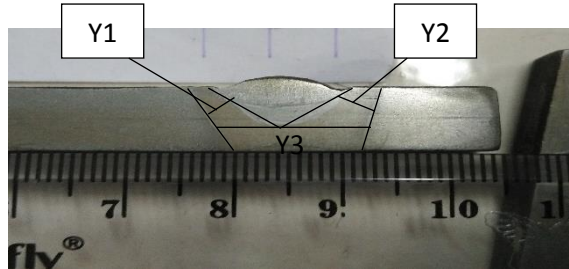
Gambar 4.13 Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* tanpa direndam



Gambar 4.14 Foto lebar HAZ pengaruh pengelasan dengan *filler* tanpa direndam



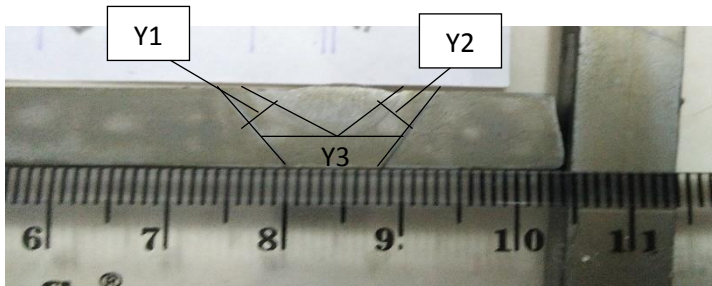
Gambar 4.15 Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 30 menit



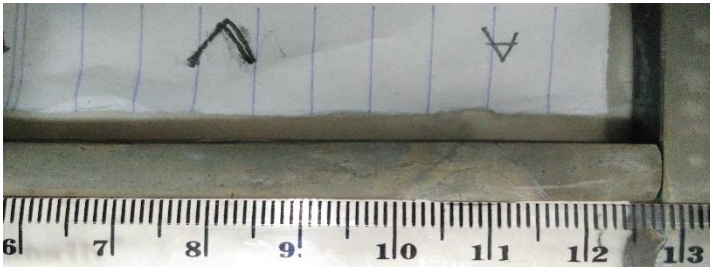
Gambar 4.16 Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 30 menit



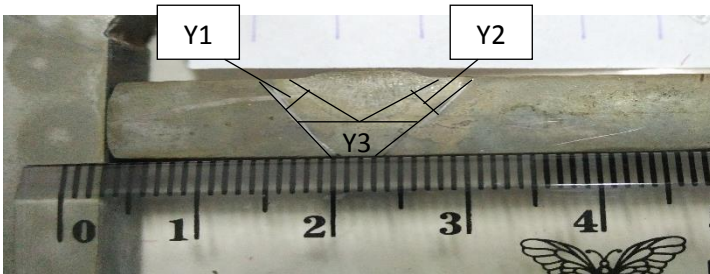
Gambar 4.17 Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 45 menit



Gambar 4.18 Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 45 menit



Gambar 4.19 Foto makro spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 60 menit



Gambar 4.20 Foto lebar HAZ spesimen pengaruh pengelasan dengan *filler* direndam 60 menit

Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata-rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini:

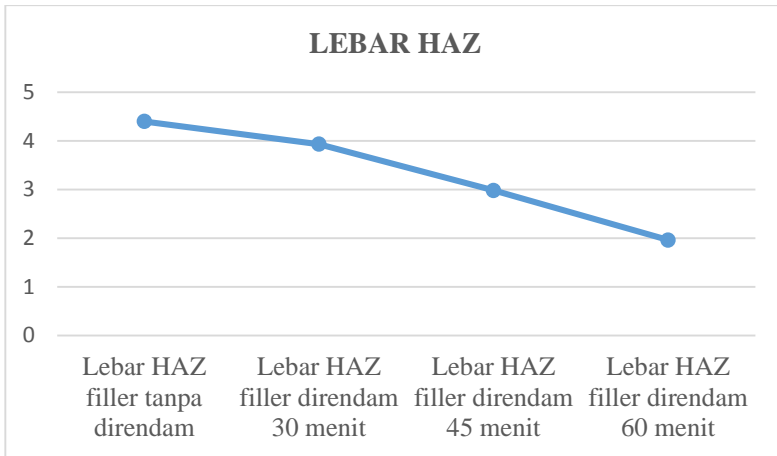
Tabel 4.6 HAZ pada material setelah dilas

ELEKTRODA	LEBAR HAZ			Y TOTAL	Y rata - rata
	KIRI	KANAN	Y3 (mm)		
	Y1 (mm)	Y2 (mm)			
Tanpa direndam	4,02	4,60	4,7	13,22	4,4
Direndam 30 menit	3,4	3,6	4,78	11,78	3,93
Direndam 45 menit	2,63	2,5	3,8	8,93	2,98
Direndam 60 menit	12,42	2,23	3	7,65	2,55

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data ditampilkan dalam bentuk table dan grafik lebar sebagai berikut :

Tabel 4.7 Lebar Rata-Rata HAZ (mm)

TEST PIECE	Lebar HAZ <i>Filler</i> Tanpa Direndam	Lebar HAZ <i>Filler</i> Direndam 30 Menit	Lebar HAZ <i>Filler</i> Direndam 45 Menit	Lebar HAZ <i>Filler</i> Direndam 60 Menit
LEBAR	4,4	3,93	2,98	1,96



Gambar 4.21 Grafik Lebar Total *HAZ*

Lebar dari *HAZ* tergantung dari beberapa faktor salah satunya adalah *Heat Input* dan arus yang digunakan pada saat proses pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat pengaruh kelembaban pada lapisan pembungkus (*flux*). Kadar kelembaban inilah yang mempengaruhi dari lebar *HAZ*. Dengan menggunakan metode tanpa direndam air, dan dengan direndam air selama 30 menit, 45 menit, 60 menit, maka lebar *HAZ* pada benda kerja yang menggunakan *filler* direndam selama 60 menit memiliki lebar *HAZ* yang lebih sempit, sedangkan lebar *HAZ* pada benda kerja yang menggunakan *filler* tanpa direndam memiliki lebar *HAZ* yang lebih lebar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh kandungan air di lapisan pembungkus (*flux*) E7018 pada pengelasan SMAW terhadap material ST 37, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengujian radiografi didapatkan hasil pada proses pengelasan dengan *filler* terendam air semuanya memiliki cacat yang sebagian besar yaitu cacat porositas (*porosity*) tetapi memiliki titik – titik cacat yang berbeda antara *filler* yang direndam selama 30 menit, 45 menit, dan 60 menit.
 - *Filler* yang tidak direndam memiliki cacat yang sedikit dan pada titik tertentu saja. Cacat yang terjadi adalah cacat *porosity* dan *cluster porosity*.
 - *Filler* yang direndam selama 30 menit memiliki cacat pada awal proses pengelasan sampai dengan sepanjang ± 90 mm dari total panjang pengelasan. Cacat yang terjadi adalah cacat *slug inclusion* dan *porosity*.
 - *Filler* yang direndam selama 45 menit memiliki cacat pada pertengahan proses pengelasan sampai dengan akhir proses pengelasan masih terdapat cacat. Cacat yang terjadi adalah cacat *slug inclusion*, *porosity*, dan *cluster porosity*.
 - *Filler* yang direndam selama 60 menit memiliki cacat pada titik tertentu awal proses pengelasan sampai dengan akhir proses pengelasan, dan paling banyak terdapat cacat dibandingkan dengan *filler* yang tanpa direndam, direndam 30 menit, dan direndam 45 menit. Cacat yang terjadi adalah cacat *slug inclusion* dan *porosity*.
2. Pada pengujian makro etsa didapatkan hasil perhitungan dari lebar HAZ pada proses pengelasan dengan perbedaan waktu perendaman *filler* (tanpa direndam, 30 menit, 45 menit, 60 menit) yaitu 4,4 mm, 3,93 mm, 2,98 mm, dan 1,96 mm. Pada *filler* yang tanpa direndam air memiliki

lebar *HAZ* yang lebih besar dibandingkan dengan *filler* yang direndam dengan air, semakin lama waktu perendaman *filler* di dalam air, maka lebar *HAZ* akan semakin menyempit.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terkait dengan pengaruh perbedaan variasi kandungan air yang terdapat pada elektroda terhadap hasil lasan *SMAW*.
2. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan *test piece* benda kerja dikarenakan terbatasnya alat potong yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. 2014. **“Elektroda (*filler* atau bahan isi)”**. <http://las-listrik.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 5 Mei 2016.
2. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
3. Ariyok Putro S. :2016. *“Pengaruh Fluida Dan Source Film Distance Terhadap Nilai Densitas Serta Sensitivitas Film Pada Underwater Inspection Dalam Pengujian Radiografi.”*
4. Idashabu. 2014. **“Tabel Kawat Las”**.<http://idashabu.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 7 Mei 2016.
5. Widi Supriyanto. :2016. *“Pengaruh Post Heat 700°C Dan 900°C Selama 5 Jam Pada Sambungan Las SMAW, Elektroda E7016, Material SA 36 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan dan.”*
6. Muhammad Andy Y. :2016. *“Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C dan 900°C Terhadap Perubahan Kekerasan dan Keuletan Pada Pengelasan Material SA 36 Dengan Menggunakan Metode SMAW.”*
7. Sonawan, Hery. 2003. **“Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam”**. Alfabeta, cv.”
8. QAQC Construction. 2014. **“Systems Welding Procedures Overview”**. <https://www.qaqc-construction.com/systems-welding-procedures-overview.php>. Diakses pada tanggal 20 Mei 2017.


9. Nugraha, Bina Aji. 2013. **"Welding"**.
<https://binaaji.wordpress.com/author/binaaji/>. Diakses
pada tanggal 5 Juni 2017.

Name :	HENDRO	Name :		NDT Level :		Date :	
NDT Level :	2	NDT Level :		Date :		Date at the minimum Source to Object Distance	
Date :	06-05-2017	Date :					

Note : *) SDO = Source to Object Distance, **) DBOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance
 IP: Incomplete Penetration, IF: Incomplete Fusion, EUC: External Undercut, Crk: Crack, RUC: Root Undercut


Lampiran 2

Sertifikat uji radiografi lanjutan



ANDTECH
AND TECHNICAL SERVICES

Jl. Bendul Merati Indah No. 5, Surabaya 60239 East Java
Phone : 031-81743248 Fax : 031-8415329
E-mail : customer@andtech.co.id Website : www.andtech.co.id



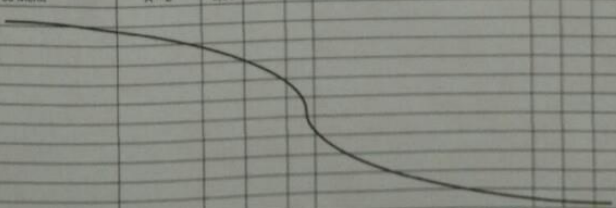
KAN
KEMERIAAN INDUSTRI

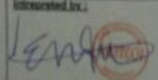
LABORASI PENGUJIAN
SNI 6000:1991/2000:2002
14-000-001

RADIOGRAPHY EXAMINATION REPORT

PROJECT : TUGAS AKHIR D3 TEKNIK MESIN ITS		Drawing No. : NA	Rev. : NA	Report No : 03/RT-ATS/TA-ITS/17
Owner : NRP 2114030039		Procedure No. : NA	Rev. : NA	Date : 31-05-2017
Applicable CODE : ASME SECT. V		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH		
PART : PLATE Item No / ID / OD : - Mat'l Type : CARBON STEEL ST37 Mat'l Thk. : 10 mm <input type="checkbox"/> 12 mm <input type="checkbox"/> Weld Thk. : 12 mm <input type="checkbox"/> 14 mm <input type="checkbox"/> Reinforc. Thk. : 2 mm <input type="checkbox"/> 3 mm <input type="checkbox"/> Backing Ring : Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Manufacturer's : AGFA Type of Film : D7 Dimension : 4 X 10 in Lead : SCREEN Front <input type="checkbox"/> Back <input type="checkbox"/> Thickness : 0,128 in <input type="checkbox"/> 0,150 in <input type="checkbox"/>		RADIATION SOURCE Isotope : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/> X-ray <input type="checkbox"/> Activity : 14 Ci Focal Spot : 3,72 mm Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/> Viewing : Single Viewing <input checked="" type="checkbox"/> Double Viewing <input type="checkbox"/> Exposure Time : 2 Min SFD : 400 mm No. of Film in Holder : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> IMAGE QUALITY INDICATOR (IQI) Wire : No ASTM 10 Hole : 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/> Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/> Shim : - MARKER PLACEMENT Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/>		
		Notes for Sketch: 1) SWWV = Single Wall Single Viewing 2) DWWV = Double Wall Single Viewing 3) DWWV = Double Wall Double Viewing 4) Other = Other than listed (Please Specify)		

Part / Weld Identification	Location	Density		Discontinuities Type	Result		Remarks & Comment
		Min	Max		Acc	Rej	
LAS 4	A - B	2,50	2,72	#6 Ext Undercut, Slag Inclusion, Porosity	-	-	-
220 A - 30 Menit							
LAS 5	A - B	2,54	2,69	#6 Slag Inclusion, Cluster Porosity, Porosity	-	-	-
220 A - 45 Menit							
LAS 6	A - B	2,56	2,79	#6 Porosity, Slag Inclusion	-	-	-
220 A - 60 Menit							




Inspected by :  Name : HENDRO NOT Level : 3 Date : 31-05-2017	Reviewed by : Name : NOT Level : Date :	Reviewed by : Name : NOT Level : Date :	Approved by : Name : NOT Level : Date :
--	--	--	--

Note : "1 ROD" = Source to Object Distance, "2" = SFD = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance
 IP: Incomplete Penetration, IF: Incomplete Fusion, EUC: External Undercut, CR: Crack, RUC: Root Undercut

Lampiran 3

Jenis Filler yang Digunakan



APPLICATION & TYPE	CLASSIFICATION JIS : Z3211 E4918 AWS : A5.1 E7018
APPROVALS	TYPE OF COVERING IRON POWDER LOW HYDROGEN USE HIGH STRENGTH STEEL (50kg/mm ²) & MILD STEEL
PERINGATAN	ABS. LR. BKJ. GL <p>Gas dan uap adalah berbahaya bagi kesehatan dan dapat merusak paru-paru dan organ lainnya. Gunakan ventilasi yang cukup! Cahaya ark dan percikan api dapat melukai mata dan membakar kulit. Gunakan pelindung tangan, kepala, mata dan badan yang benar. Kejutan/sengatan listrik dapat menyebabkan kematian.</p>



石家庄市石桥焊材有限公司
SHIJIAZHANG SHIQAIO ELECTRIC WELDING MATERIAL CO.,LTD.

电焊条质量合格证
QUALITY CERTIFICATE OF WELDING ELECTRODES

Q/C NO.:

USER: *** ENTERPRISE

CONTRACT NO.:

型号Type	规格 Spec(mm)	数量 Quantity (kg)	熔敷金属机械性能试验数据 Typical mechanical properties of deposited metal					熔敷金属化学成分含量 (wt%) Typical chemical composition of deposited metal				
			抗拉强度 Tensile Strength MPa	屈服点 Yield point% σ _{0.2}	延伸率 Elongation 35%	冲击功 Charpy J	硬度 HRC	C	Mn	S	P	Si
STANDARD			≥490	≥22	≥22	≥27	≤20°C	≤0.12	≤1.60	50.035	≤0.04	≤0.75
E7018	Φ2.5	2000	550	450	29	128	合格	I	0.068	1.38	0.012	0.015
E7018	Φ3.2	2000	555	455	29	125	合格	I	0.07	1.25	0.012	0.011
E7018	Φ4.0	2000	570	455	29	130	合格	I	0.07	1.35	0.016	0.018
E7018	Φ5.0	2000	570	465	29	130	合格	I	0.07	1.38	0.017	0.019

STAMP BY QUALITY DEPARTMENT

SIGNATURE BY CHIEF OF QUALITY CHECK

SHIJIAZHANG SHIQAIO ELECTRIC WELDING MATERIAL CO.,LTD.
石家庄市石桥焊材有限公司
SHIJIAZHANG SHIQAIO ELECTRIC WELDING MATERIAL CO.,LTD.
杜志强

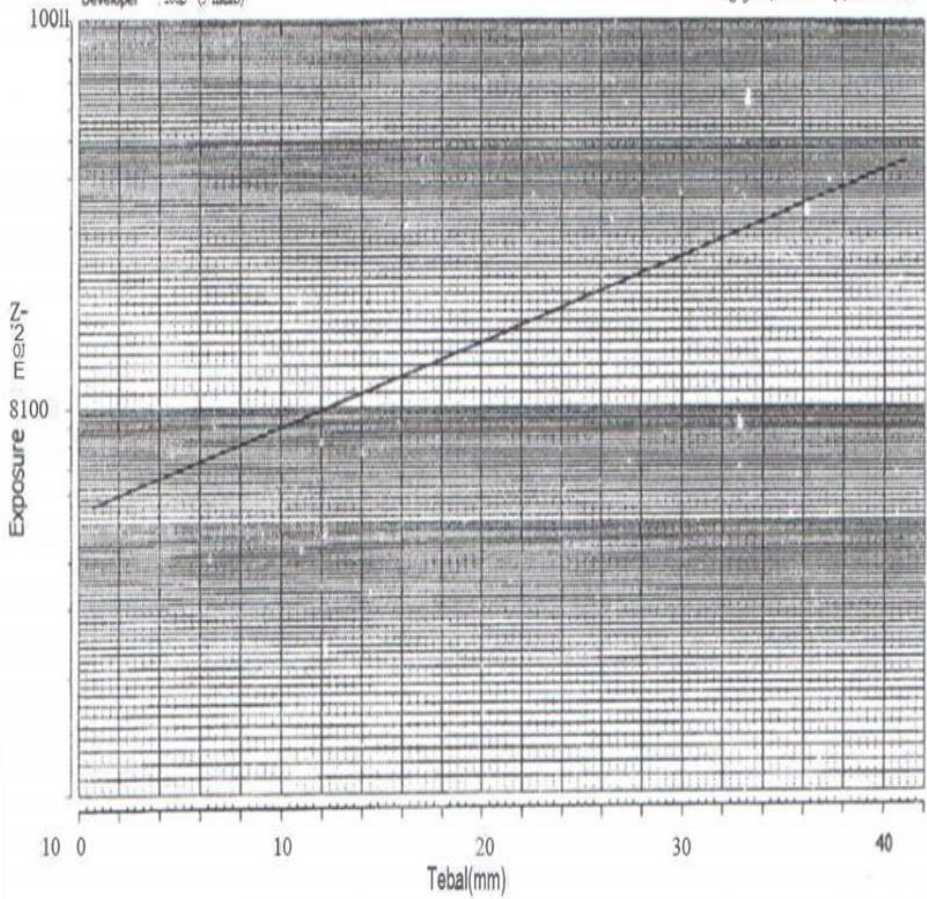
Lampiran 5

Exposure chart Ir-192

Sumber : Ir-192
 Material : Fe
 SFD : 110 mm
 Film : AGFA07
 Density : 2
 Screen : Lead 0, US mm
 Developer : 200C (5 min)

EXPOSURE CHART IR-192

Log y : 1,72153. (0,022115 Xi)



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tuban, 3 Juni 1995, dari pasangan Bapak Sugito dan Ibu Isnawati. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bhayangkari Tuban, SDN Kebonsari 1 Tuban, SMPN 1 Tuban dan SMAN 1 Tuban. Setelah lulus dari SMAN 1 Tuban pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dalam bidang studi manufaktur. Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. SEMEN INDONESIA Tbk. yang merupakan pabrik pengolahan semen di Tuban, di dalam *Section Packer and Port* Pabrik Tuban 4 selama 1 bulan.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi di himpunan sebagai staf BSO BENGKEL dan menjadi Ketua Pelaksana Service Gratis di periode yang sama.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 6 pendidikan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS khususnya, serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi, dapat menghubungi email : bintangdewa4@gmail.com dan no. Tlp : 082232823742.